DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2024.02.012

广州18及22号线快慢车运营模式研究

叶富智[1]，范永华[2]，苏　航[1]，林保罗[3]

（1. 广州地铁集团有限公司，广州　510010;

2. 广州地铁设计研究院股份有限公司，广州　510010;

3. 广州铁科智控有限公司，广州　510010）

摘要：针对广州 18 及 22 号线长大区间、Y 型交路等复杂运营需求，提出相应的快慢车运营解决方案，并通过仿真测试进行数据模拟，形成快慢车运行模式下的信号系统解决方案，为类似项目的信号系统设计提供有效的技术支持。

关键词：广州 18 及 22 号线；快慢车；交汇点；运行图

中图分类号：U231+.7　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1673-4440(2024)02-0067-05

Research on Fast and Slow Train Operation Modes of Guangzhou Metro Line 18 and 22

Ye Fuzhi[1], Fan Yonghua[2], Su Hang[1], Lin Baoluo[3]

(1. Guangzhou Metro Group Co., Ltd., Guangzhou　510010, China)

(2. Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., Guangzhou　510010, China)

(3. Guangzhou Railway Sciences Intelligent Controls Co., Ltd., Guangzhou　510010, China)

Abstract: In view of the complex operation requirements of Guangzhou Metro Line 18 and Line 22, such as long sections and Y-type routing, this paper proposes corresponding fast and slow train operation solutions, and conducts data simulation through simulation tests to form a signal system solution under fast and slow train operation modes, providing effective technical support for signal system design of similar projects.

Keywords: Guangzhou Metro Line 18 and 22; fast and slow trains; intersection; train diagram

广州轨道交通 18 及 22 号线（首通段 18 号线的万顷沙—冼村，22 号线的番禺广场—陈头岗）的线路条件、运营需求和运营方式特殊，信号系统需同时满足岛式越行站、Y 型交路、快慢车等多方面的运营需求。本文着重研究适配于广州 18 及 22 号线快慢车运营的信号系统解决方案，通过利用列车运行仿真测试系统，分析、测试和模拟快慢车的运行情况，从而为优化信号系统设计提供有效的技术支持。

收稿日期：2022-12-22；**修回日期：**2023-12-06

基金项目：广州地铁设计研究院股份有限公司科研项目（YK-2017-61）

第一作者：叶富智（1982—），男，高级工程师，本科，主要研究方向：城市轨道交通信号，邮箱：yefuzhi@gzmtr.com。

1 广州18及22号线概况

广州市轨道交通 18 号线全长 61.4 km，均为地下线，共设站 9 座，其中换乘站 8 座，平均站间距 7.6 km；最大站间距 25.9 km，为横沥至番禺广场站区间；最小站间距 2.3 km，为石榴岗至琶洲西区区间。

广州市轨道交通 22 号线全长 30.4 km，初期万顷沙至番禺广场段与 18 号线共线。作为广州市域快线，18 及 22 号线构建了广州南部地区的快速联系通道，对于带动沿线周边地区城市发展与经济建设起到举足轻重作用。

广州 18 及 22 号线对于将南沙新区打造为珠三角世界级城市群的枢纽型城市，为国家级新区建设起着举足轻重的作用。对于支持南沙自贸区国家战略，将南沙打造成为粤港澳全面合作示范区，倾力打造世界级大都会起着至关重要的作用。

2 广州18及22号线特征分析

广州 18 及 22 号线（首通段 18 号线的万顷沙—冼村，22 号线的番禺广场—陈头岗）的线路条件、运营需求和运营方式具有以下一些特征。

广州 18 及 22 号线首通段共有客运车站 11 座，其中越行站 6 座，越行站占比超过 50%，适配快慢车运营条件好；

广州 18 及 22 号线所有的越行站，除了 22 号线的陈头岗站是双岛式四线越行站以外，其他的越行站都是单岛式四线越行站。慢车在陈头岗站侧线（避让线）和正线都可停车上下客；

广州 18 及 22 号线快车停靠站，除了 22 号线的陈头岗站是越行站以外，其他快车停靠站都是双线非越行车站；

慢车停靠所有车站（除了疏散救援点 1 站和疏散救援点 2 站以外，在此二站快慢运营列车皆通过不停车）；

所有单岛式四线越行站，避让线（侧股）的运营正向方向终端都有可开通定位直股的道岔作为保护区段，从而在避让慢车进站过程中，进站进路保护区段未解锁的情况下，减少对通过进路排列的干扰。

广州 18 及 22 号线在番禺广场站汇合。番禺广场站满足跨线运营条件，广州 18 及 22 号线可行成万顷沙—番禺广场，以及万顷沙—番禺广场—白鹅潭的 Y 字形交路运营。

3 信号系统解决方案

信号系统通过各子系统协调配合支持快、慢车运营。可以根据运行图自动实现快车在车站跳停，以及在有条件的车站快车越行、慢车待避。可以自动给乘客信息系统（PIS）及广播系统发送预告，使乘客可以获知每一条股道的下一趟列车是否停车、是否为快车。可以在绘制基本图时标记快、慢车属性，如果需要，可以对快、慢车的运行图和车次窗做颜色或其他形式的区分，方便调度指挥。

3.1 快慢车运行图研究

ATS 系统要适配快、慢车运营，运行图子系统需要能够调整区间运行时间，对于通过列车，区间运行时间应予以适当减少。

对通过列车统一减少一定时间。这种方法适用于线路上各站通过线路条件大致相同，列车通过速度大体一致的情况。如果每个会让站的通过速度差异很多，可以测试各站通过和到开的时间差值。

减少区间运行时间分为 3 种情况。

出发站通过、到达站通过，这种情况减少的时间为 t_1。

出发站到开、到达站通过，这种情况减少的时间为 t_2。

出发站通过、到达站到开，这种情况减少的时间为 t_3。

要精确测试某一区间的快、慢车区间运行时间差值，需要按上述 3 种情况分别测试。

1）首先测试出发站和到达站都到开的区间运行时间 T，从列车出发站启动开始计时，至列车在到达站停稳计时终止。

2）测试出发站通过、到达站通过的区间运行时

间 T_1，从列车头部离开出发站台轨道计轴区段开始计时，至列车在到达站头部离开站台轨道计轴区段计时终止。

3）测试出发站到开、到达站通过的区间运行时间 T_2，从列车出发站启动开始计时，至列车在到达站头部离开站台轨道计轴区段计时终止。

4）测试出发站通过、到达站到开的区间运行时间 T_3，从列车头部离开出发站台轨道计轴区段开始计时，至列车在到达站停稳计时终止。

对应的减少时间如公式（1）、（2）、（3）所示。

$$t_1 = T - T_1 \tag{1}$$

$$t_2 = T - T_2 \tag{2}$$

$$t_3 = T - T_3 \tag{3}$$

当普通列车到达避让站台时，就是快车越行的最佳时机。快车通行后，普通列车继续追踪，也恰好能够满足最小追踪间隔的需求。其避让的时序关系如图 1 所示。

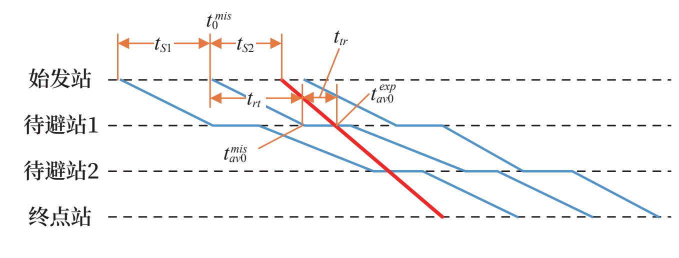


图1　快慢车避让时机

Fig.1　Coordinated timing for avoiding collisions between fast and slow trains

设普通列车从始发站出发时刻为t_0^{mis}；普通车从始发站运行到避让站的时间为 t_{rt}、到达避让站的时刻为 t_{av0}^{mis}；t_{s1} 为普通车与普通车的发车间隔；二者的发车间隔为 t_{s2}；快车到达避让站的时刻为t_{av0}^{exp}；最小追踪间隔为 t_{tr}；快车比普通车节省的时间为 t_{jy}。

可以得出，在避让站 1 快车 C 与普通车 B 之间的关系如公式（4）、（5）所示。

$$t_{av0}^{mis} + t_{tr} = t_{av0}^{exp} \tag{4}$$

$$(t_0^{mis} + t_{rt}) + t_{tr} = (t_0^{mis} + t_{s2}) + (t_{rt} - t_{jy}) \tag{5}$$

由此得出，要实现最佳的越行时机，快车与普通车发车间隔和快车节约时间如公式（6）所示。

$$t_{jy} = t_{s2} - t_{tr} \tag{6}$$

为实现整体开行方案的均匀间隔，快车需要周期性的变化。可以采取两种方式维持这种周期性变化：第一种，替换运行方式，即在普通车发车间隔不变的基础上，用快车替换普通车。第二种，插入运行方式，即在普通车发车间隔不变的基础上，将快车插入普通车之中。开行方案的优缺点比较如表 1 所示。

表1　开行方案的优缺点比较

Tab.1　Comparison of the advantages and disadvantages of train operation plans

快车开行方式	优点	缺点
替换运行	上线列车数固定，不需要加开	快车跳停时需要牺牲运输能力，站点会出现大的间隔
插入运行	慢车不受影响；快车能够缩小快车停靠站的行车间隔，提升运输能力	需增加上线列车数；行车间隔不均衡

快慢车越行主要受以下两个因素影响。

1）行车间隔：如果采用插入运行，快车插入点的行车间隔是原间隔的一半，需要在线路最小追踪间隔满足的前提下进行。

2）越行站台分布位置：在慢车到达越行的站时，快车需要满足越行慢车的条件，且不能让慢车避让时间超长、避让次数过多。

需对越行站和越行次数的各种组合方案进行可行性分析和实验，才能确定最佳的越行方案。为了达到平衡，可能减小快车在某些区间的旅行速度，或增加慢车的避让时间等。

3.2　快慢车交汇点管理策略

3.2.1　交汇点避让策略研究

在快慢车线路中，交汇点管理策略设置的目的在于使快慢车按照设定的顺序通过越行站，并使列车停在站台外的几率最小。目前，实际应用中比较常见的交汇点管理策略包括：按到达时间优先、按路径优先及按晚点列车优先等方式。

按照上述某一种方式，由 ATS 系统自动控制避让方式，对于 18 及 22 号线的运营是不合适的。一旦图定顺序被打乱，为恢复运营秩序，必然会交换车组担当服务。由于 18 及 22 号线是两条线路按 Y

字形交路运营，且共有 1 个车辆段和 2 个停车场，如果车组担当服务被替换，高峰期结束以及运营结束收车时调度车组回到相应的场段，以及司机派班调度等都会带来很多的麻烦。

3.2.2　交汇点避让方案选择

广州 18 及 22 号线快慢车运营需要采取一种更灵活且需要人工确认避让策略的调整方式。

系统具备越行避让管理功能，能够使快慢车按照预先设定好的顺序通过越行站。在兼顾停站和避让的前提下，快车越行慢车。如果发现异常，系统会自动计算相应的避让时间，如果造成的延误不长，快车会优先通过；如果造成的延误较大，系统会提示操作人员人工处理。

3.2.3　广州18及22号线交汇点管理方案

在交汇点车站，如果待避列车到达进路触发时刻，但是计划前行通过列车晚点未达到的情况时，弹出对话框提示。

系统根据广州地铁企业标准规定的最长待避时间 5 min 原则，对交汇点管理进行优化设计。

1）交汇点进路请求对话框显示待避列车等待前行列车通过的情况下预计总共停站时间 。

2）如果通过列车晚点情况不多，预计待避列车停站时间不会超过 5 min 的情况下，交汇点进路请求对话框默认选项为等待直至计划前行列车通过。

3）如果通过列车晚点较多或位置不可知（列车下线等情况），预计待避列车会发生超时，如果列车运行前方仍然有车站可以交汇避让，交汇点进路请求对话框默认选项为立即排列进路；如果列车运行前方没有车站可以交汇避让，交汇点进路请求对话框默认选项为等待直至计划前行列车通过。

4）列车运行前方仍然有车站可以交汇避让，ATS 支持多次自动交汇避让。

5）同时支持“先来先走”的交汇点管理策略：信号机可以设置停用交汇冲突检测操作，操作成功后，ATS 不再检查该信号机所有进路的交汇冲突，先来的列车优先排列进路，不再做出冲突提示。

6）可以灵活配置每条进路的自动进路提前排列时间量，避免早提示、多提示，在列车准点运行的情况下尽量没有弹框干扰。时间量可以根据现场使用情况随时修改。

4　仿真与验证

4.1　仿真交路

采用广州 18 及 22 号线初期运营交路进行仿真实验，初期运营采用独立交路。

广州 18 号线共上线 15 列车，其中 13 列为普通车，2 列为大站快车，广州 18 号线全部列车运营交路为万顷沙至冼村。

广州 22 号线上线 5 列车，全部是普通车，全部列车运营交路为番禺广场至陈头岗。

4.2　仿真结果

依据现场实际仿真测试结果如下。

1）正常运行期间列车没有 2 min 以上的早晚点情况。

2）始发全部正点。

3）其他区间 ATO 自动调整精确，基本图运行线和实际运行线几乎贴合。

4）慢车平均避让时间小于 3 min，相比慢车最长停靠时间 5 min 指标尚有大幅裕量。

5）快车跟踪慢车、慢车跟踪快车的最小追踪间隔时间小于 90 s。

5　结束语

广州地铁 18 及 22 号线按照最高速度 160 km/h 设计，设置了多个越行站，适宜采用快慢车运营。针对快慢车和 Y 字形交路运营，ATS 系统须能够支持灵活地生成、编辑运行图，满足不同运营要求。ATS 系统须区分显示快慢车图标、运行线，并提供便捷的快慢车转换手段，在运营秩序出现异常后，能快速地恢复按快运行图快慢车运营。快慢车转换建议在始发站进行操作。本文提供的仿真数据可以作为相应研究结果的支撑。

参考文献

[1] 胡清梅，吕楠，夏朋飞，等．新技术下北京地铁调度模式发展趋势［J］．铁路通信信号工程技术，2022，19（4）：47-53.

Hu Qingmei, Lǚ Nan, Xia Pengfei, et al. Development Trend of Beijing Rail Transit Dispatching Mode Under New Technologies[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(4): 47-53.

[2] 刘婧婧，赵家炜，黄晓钦．广州地铁 14 号线“快、慢车”运行方案分析［J］．铁道通信信号，2016，52（6）：89-93.

Liu Jingjing, ZhaoJiawei, HuangXiaoqin. Express and Local Trains Operation Scheme of Guangzhou Metro Line 14[J]. Railway Signalling& Communication, 2016, 52(6): 89-93.

[3] 宋键，徐瑞华，缪和平．市域快速轨道交通线开行快慢车问题的研究［J］．城市轨道交通研究，2006，9（12）：23-27.

Song Jian, XuRuihua, MiaoHeping. Problems of Operating the Express/Slow Train on the Regional Urban Rail Transit Line[J]. Urban Mass Transit, 2006, 9(12): 23-27.

[4] 屈明月，黄树明．城市轨道交通快慢车方案研究［J］．铁道运输与经济，2012，34（4）：79-82.

Qu Mingyue, HuangShuming. Study on the Scheme of Fast and Slow Trains in Urban Rail Transit[J]. Railway Transport and Economy, 2012, 34(4): 79-82.

[5] 张咪．广州地铁 14 号线 Y 型交路快慢车运行图规划实例分析［J］．科技创新与应用，2019（9）：73-75.

Zhang Mi. Case Study on the Operation Diagram Planning of Y-Shaped Intersection Fast and Slow Trains on Guangzhou Metro Line 14[J]. Technology Innovation and Application, 2019(9): 73-75.

[6] 孙元广，史海欧．市域线快慢车组合运营模式研究与实践［J］．都市快轨交通，2013，26（2）：14-17.

Sun Yuanguang, ShiHaiou. Study and Practice of Operating Express/Slow Trains on Urban Railway Lines[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2013, 26(2): 14-17.

[7] 葛兰新．深圳地铁 3 号线信号系统改造方案选择［J］．铁路通信信号工程技术，2022，19（10）：73-78.

Ge Lanxin.Selection of Schemes for Transformation of Signal System for Shenzhen Metro Line 3[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(10): 73-78.

[8] 徐意．广州地铁 21 号线快慢车越行运行图规划实例分析［J］．城市轨道交通研究，2016，19（12）：143-148.

Xu Yi. Analysis of Train Overtaking Diagram Planning for Guangzhou Metro Line 21[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(12): 143-148.

[9] 王仲林．广州地铁 21 号线快慢线规划设计与实践［J］．都市快轨交通，2018，31（3）：52-57.

Wang Zhonglin. Planning and Design of the Express and Local Line of Guangzhou Metro Line 21[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(3): 52-57.

[10] 马冲．城市轨道交通列车折返能力优化方案研究［J］．铁路通信信号工程技术，2022，19（6）：76-80.

Ma Chong. Optimization Scheme of Train Turn-back Capacity of Urban Rail Transit[J]. RailwaySignalling& Communication Engineering, 2022, 19(6): 76-80.

[11] 谭彬彬，金华，刘爽，等．考虑城市轨道交通折返进路占用的大小交路列车运行组织优化［J］．铁道科学与工程学报，2022，19（8）：2161-2168.

Tan Binbin, JinHua, LiuShuang, et al. Optimization on Train Operation Organization of Full-Length and Short-Turn Routing Mode Considering the Occupation of Turn-back Route[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(8): 2161-2168.